

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年   9 月 3 0 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 2 8 7 3 6 3  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 2 - 2 8 7 3 6 3 ]

出      願      人            株式会社東芝  
Applicant(s):

2 0 0 3 年   7 月   8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎

【書類名】 特許願

【整理番号】 A000202354

【提出日】 平成14年 9月30日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 フォトマスクの設計方法、パターン予測法方法およびプログラム

【請求項の数】 15

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

    【氏名】 福原 和也

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

    【氏名】 東木 達彦

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

    【氏名】 井上 壮一

【特許出願人】

    【識別番号】 000003078

    【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

    【識別番号】 100058479

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 鈴江 武彦

    【電話番号】 03-3502-3181

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100084618

【弁理士】

【氏名又は名称】 村松 貞男

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100070437

【弁理士】

【氏名又は名称】 河井 将次

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1



【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フォトマスクの設計方法、パターン予測法方法およびプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクの設計方法であって、

前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率特性を求める工程と、

前記投影光学系の透過率特性を用いて、前記フォトマスクのマスクバイアスを求める工程と

を有することを特徴とするフォトマスクの設計方法。

【請求項 2】

前記投影光学系の透過率特性を求める工程は、前記フォトマスク上で発生して前記投影光学系を通過する回折光について、前記投影光学系の透過率を求める工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスクの設計方法。

【請求項 3】

前記フォトマスクが互いに形状が異なる複数のパターンを含む場合、これらの複数のパターンの形状の違いに応じて、前記複数のパターンのマスクバイアスを変えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のフォトマスクの設計方法。

【請求項 4】

前記投影光学系の透過率特性を求める工程において、前記フォトマスクの複数の領域で発生するそれぞれの回折光について、前記投影光学系の透過率を求め、

前記フォトマスクのマスクバイアスを求める工程において、前記フォトマスクの前記複数の領域毎にマスクバイアスを求めることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスクの設計方法。

【請求項 5】

前記投影光学系の透過率特性を求める工程において、前記フォトマスクの複数

の領域で発生するそれぞれの回折光について、前記投影光学系の透過率を求め、

前記フォトマスクのマスクバイアスを求める工程において、前記フォトマスクの前記複数の領域において共通のマスクバイアスを求めることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスクの設計方法。

#### 【請求項 6】

フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光して形成される前記感光基板上のパターンを予測するパターン予測方法であって、

前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似する工程と、

前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記パターンを予測する工程と

を有することを特徴とするパターン予測方法。

#### 【請求項 7】

前記直交多項式は、Zernike 多項式であることを特徴とする請求項 6 に記載のパターン予測方法。

#### 【請求項 8】

前記感光基板はレジストが塗布された基板であり、前記パターンは前記レジスト上に投影された前記フォトマスクのパターンの光学像、もしくは前記フォトマスクのパターンの光学像が投影されたレジストを現像して得られるレジストパターンであることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載のパターン予測方法。

#### 【請求項 9】

フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクの設計方法であって、

前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似する工程と、

前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記フォトマスクを透過した光が投影光学系を介して感光基板上に集光して形成されるパターンを予測する工程と、

この予測したパターンと前記フォトマスクに対応した設計上のパターンとの差が、所定の範囲内に収まっているか否かを判断する工程と、

前記予測したパターンと前記設計上のパターンとの差が所定の範囲内でない場合、前記所定の範囲内に収まるように、前記フォトマスクを補正する工程とを有することを特徴とするフォトマスクの設計方法。

#### 【請求項 10】

前記直交多項式は、Zernike多項式であることを特徴とする請求項 8 に記載のフォトマスクの設計方法。

#### 【請求項 11】

前記感光基板はレジストが塗布された基板であり、前記パターンは前記レジスト上に投影された前記フォトマスクのパターンの光学像、もしくは前記フォトマスクのパターンの光学像が投影されたレジストを現像して得られるレジストパターンであることを特徴とする請求項 9 または 10 に記載のフォトマスクの設計方法。

#### 【請求項 12】

コンピュータに、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光して形成される前記感光基板上のパターンを予測させる手順を実行させるためのプログラムであって、

前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似させる手順と、

前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記パターンを予測させる手順とを実行させるためのプログラム。

#### 【請求項 13】

コンピュータに、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光

を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクを設計させる手順を実行させるためのプログラムであって、

前記投影光学系内を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似させる手順と、

前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記フォトマスクを透過した光が投影光学系を介して感光基板上に集光して形成されるパターンを予測させる手順と、

この予測したパターンと前記フォトマスクに対応した設計上のパターンとの差が、所定の範囲内に収まっているか否かを判断させる手順と、

前記予測したパターンと前記設計上のパターンとの差が所定の範囲内でない場合、前記所定の範囲内に収まるように、前記フォトマスクを補正させる手順とを実行させるためのプログラム。

#### 【請求項 1 4】

前記直交多項式は、Zernike多項式であることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載のプログラム。

#### 【請求項 1 5】

前記感光基板はレジストが塗布された基板であり、前記パターンは前記レジスト上に投影された前記フォトマスクのパターンの光学像、もしくは前記フォトマスクのパターンの光学像が投影されたレジストを現像して得られるレジストパターンであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載のプログラム。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0 0 0 1】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置のリソグラフィプロセスに使用されるフォトマスクの設計方法、リソグラフィプロセス中で形成されるパターンの予測方法、ならびに上記パターンの予測方法およびフォトマスクの設計方法をコンピュータに実行させるためのプログラムに関する。



**【 0 0 0 2 】****【従来の技術】**

半導体デバイスの製造工程の一つである光リソグラフィ工程では、露光装置が使用される。露光装置は、フォトマスクに露光光、例えば A r F エキシマレーザー光を照射し、感光性樹脂（フォトレジスト）が塗布された基板表面にマスクパターンを縮小投影露光する。

**【 0 0 0 3 】**

フォトマスクに入射した露光光はマスクパターンにおいて回折する。回折光は投影レンズを通過して基板上に集光し、基板表面近傍に光学像と呼ばれる干渉パターンを形成し、この干渉パターンに沿ってフォトレジストが感光する。

**【 0 0 0 4 】**

露光された基板を現像処理することにより、基板表面に微細なパターンが形成される。微細パターン形成技術は年々進歩し、最近では 1 3 0 n m 以下の小さい寸法のレジストパターンを形成することが可能となっている。

**【 0 0 0 5 】**

微細なレジストパターンを形成するには、露光量（露光光のエネルギー）の制御が重要である。適切な光強度で露光を行うことによって、フォトレジストを適度に感光させ、その結果として基板上に所望寸法のレジストパターンが形成される。

**【 0 0 0 6 】**

露光量が高すぎても低すぎても所望寸法にはならない。レジストパターンが所望寸法でない場合、その後の工程を経て製造される半導体デバイスは正常に動作せず、不良品となる。

**【 0 0 0 7 】**

そのため、製造工程においては、露光後に、レジストパターンの寸法を例えば電子顕微鏡などを用いて測定する。寸法が所望値でない場合には、フォトレジストを剥離し、光リソグラフィ工程の最初からやり直す。

**【 0 0 0 8 】**

露光装置が一括して露光する領域の大きさは一辺が数十ミリの矩形であり、こ

の領域（一括露光領域）内に1個以上の半導体デバイスが形成される。したがって、露光においては、一括露光領域内の全ての位置で、レジストパターンを所望の寸法に仕上げなければならない。

#### 【0009】

一般に、1回の露光で転写されるパターンには、密集したパターン、孤立したパターンなど様々なものが含まれている。露光波長と同程度か、あるいはそれよりも小さい寸法のパターンを形成する場合、マスクパターンを形成すべきレジストパターンと相似な形状に、すなわちレジストパターンを投影レンズの縮小率で除算して算出される寸法に設計しても、全てのパターンが所望寸法に仕上がるわけではない。

#### 【0010】

そこで、例えば、密集パターンと孤立パターンとが同じレジスト寸法に仕上がるように、双方のマスク寸法を、レジストパターンを投影レンズの縮小率で除算して算出される寸法とは異なる値に、マスク設計寸法を変える。このマスク寸法の変更量をマスクバイアスと呼んでおり、パターンの種類によって異なるマスクバイアスを与えて、レジスト仕上がり寸法を調節する。

#### 【0011】

ところで、実際の露光装置においては、光が通る経路に依存して光の振幅が異なる量だけ減衰する現象（以下、瞳透過率変動という。）が発生している。その原因は、例えば、特許文献1で述べられているような、投影光学系を構成するレンズの反射防止膜の不均一性、あるいはレンズの厚さによる透過率低下などがある。

#### 【0012】

投影光学系内における回折光の経路が異なれば、一般には、投影レンズに入射する回折光の角度や、投影レンズ内部を通過する回折光の距離が変わる。そのため、回折光の経路によっては投影光学系の透過率が変わる。特に、現在レンズ材として一般的に使用されている熔融石英は、波長が200nmより短い光に対しては、短波長であるほど透明性が低下する傾向がある。したがって、瞳透過率変動はArF露光装置（露光波長193nm）において特に大きな値を示す。

## 【 0 0 1 3 】

回折光が通る経路はマスクパターンによって異なるから、投影レンズに瞳透過率変動がある場合、投影光学系の透過率はマスクパターンによって異なる影響を受ける。結果的に、レジストパターンを所望寸法に仕上げるための最適露光量が変わる。しかも、この変化の大きさは、パターンの種類によって、例えば密集パターンと孤立パターンの間で異なる。

## 【 0 0 1 4 】

したがって、密集パターンと孤立パターンとを同時に所望寸法に仕上げるように各パターンのマスクバイアスを設計したとしても、瞳透過率変動を考えていなければ、二つのパターンが同時には所望寸法にならない恐れがある。

## 【 0 0 1 5 】

このよう不都合を未然に防止するために、マスクバイアスを変えたフォトマスクを予め複数準備して、試行錯誤的に最適なマスクバイアスを求める方法が考えられるが、必要な時間およびコストが膨大となり、実用的な方法とはいえなかった。

## 【 0 0 1 6 】

また、瞳透過率変動の影響を防止するために、投影光学系が持つ瞳変動率の大きさを計測し、この計測結果に基づいて感光基板上の光学像を予測し、この予測した光学像と設計上の光学像とが一致するように、フォトマスクを設計する方法が考えられる。

## 【 0 0 1 7 】

瞳透過変動率の大きさの計測方法は、例えば、特許文献 2 に開示されている。この計測方法を実施することにより、瞳座標系の複数の点における透過率の分布が判明する。

## 【 0 0 1 8 】

しかし、上記従来の計測方法は、瞳透過率変動を、瞳面におけるマトリクスデータとして取り込んで計算を行っているので、瞳面内で複雑に変化する瞳透過率変動を取り込もうとすると、必要なデータ量が膨大となる。そのため、従来の計測方法の計測結果に基づいて行われる光学像の予測方法、さらにこの光学像の予

測方法を用いたフォトマスクの設計方法は、実用的な方法とはいえなかった。

**【0019】**

**【特許文献1】**

特開平9-63943号公報

**【0020】**

**【特許文献2】**

特開2001-230179号公報

**【0021】**

**【発明が解決しようとする課題】**

上述の如く、露光装置の投影光学系に瞳透過率変動がある場合、レジストパターン寸法を高精度に所望寸法に仕上げるために、マスクバイアスを変えたフォトマスクを予め複数準備して、試行錯誤的に最適なマスクバイアスを求める方法が提案されているが、必要な時間およびコストが膨大となり、実用的な方法とはいえなかった。

**【0022】**

また、瞳透過変動率の大きさを従来の計測方法で求め、この計測結果に基づいて感光基板上の光学像を予測し、この予測した光学像と設計上の光学像とが一致するように、フォトマスクを設計する方法が考えられる。しかし、従来の計測方法は必要なデータ量が膨大となるため、その計測結果に基づいて行われる光学像の予測方法、さらにこの光学像の予測方法を用いたフォトマスクの設計方法は、実用的な方法とはいえなかった。

**【0023】**

本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、投影光学系の瞳透過率変動の影響を小さくでき、かつ実用的なフォトマスクの設計方法、リソグラフィプロセス中で形成されるパターンのパターン予測方法およびフォトマスクの設計をコンピュータに実行させるためのプログラムを提供することにある。

**【0024】**

**【課題を解決するための手段】**

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば下記の通りである。すなわち、上記目的を達成するために、本発明に係るフォトマスクの設計方法は、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクの設計方法であって、前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率特性を求める工程と、前記投影光学系の透過率特性を用いて、前記フォトマスクのマスタバイアスを求める工程とを有することを特徴とする。

#### 【0 0 2 5】

本発明では、投影光学系の透過率特性を求め、この透過率特性を用いてマスクバイアスを求めるので、投影光学系の瞳透過率変動の影響を小さくできるとともに、コスト等を増大させ、実用上の障害の原因となる複数のマスクバイアスを変えたフォトマスクを予め準備する必要がなくなる。

#### 【0 0 2 6】

また、本発明に係るパターン予測方法は、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光して形成される前記感光基板上のパターンを予測するパターン予測方法であって、前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似する工程と、前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記パターンを予測する工程とを有することを特徴とする。

#### 【0 0 2 7】

本発明では、投影光学系の透過率変動を近似する直交多項式の展開係数に基づいて、パターンを予測する。ここで、適切な直交多項式を選ぶことにより、透過率変動を少ない展開係数で近似することができ、実用上の障害の原因となるデータ量の増大を防止できるようになる。さらに、上記直交多項式の展開係数は、感光基板上に形成されるパターンに関して物理的な意味を持つようになる。このようなパターンに関しての物理的な知見は、マスクパターン設計において有効であ

る。

#### 【0028】

本発明に係る他のフォトマスクの設計方法は、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクの設計方法であって、前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似する工程と、前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記フォトマスクを透過した光が投影光学系を介して感光基板上に集光して形成されるパターンを予測する工程と、この予測したパターンと前記フォトマスクに対応した設計上のパターンとの差が、所定の範囲内に収まっているか否かを判断する工程と、前記予測したパターンと前記設計上のパターンとの差が所定の範囲内でない場合、前記所定の範囲内に収まるように、前記フォトマスクを補正する工程とを有することを特徴とする。

#### 【0029】

本発明では、感光基板上のパターンを予測する際に、上記本発明に係るパターン予測方法を用いているので、実用上の障害の原因となるデータ量の増大を防止できるようになる。

#### 【0030】

また、本発明に係るプログラムは、コンピュータに、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光して形成される前記感光基板上のパターンを予測させる手順を実行させるためのプログラムであって、前記投影光学系を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する、前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似させる手順と、前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記パターンを予測させる手順とを実行させるためのプログラムである。

#### 【0031】

また、本発明に係る他のプログラムは、コンピュータに、フォトマスクに光を照射し、前記フォトマスクを通過した光を投影光学系を介して感光基板上に集光し、前記感光基板上に前記フォトマスクのパターンを露光する露光方法に用いられるフォトマスクを設計させる手順であって、前記投影光学系内を通過する光の前記投影光学系内の経路の違いに依存して変化する前記投影光学系の透過率変動を、前記投影光学系の瞳座標で定義される直交多項式を用いて近似させる手順と、前記投影光学系の透過率変動を近似する前記直交多項式の展開係数に基づいて、前記フォトマスクを透過した光が投影光学系を介して感光基板上に集光して形成されるパターンを予測させる手順と、この予測したパターンと前記フォトマスクに対応した設計上のパターンとの差が、所定の範囲内に収まっているか否かを判断させる手順と、前記予測したパターンと前記設計上のパターンとの差が所定の範囲内でない場合、前記所定の範囲内に収まるように、前記フォトマスクを補正させる手順とを実行させるためのプログラムである。

#### 【0032】

本発明の上記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記載および添付図面によって明らかになるであろう。

#### 【0033】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

#### 【0034】

##### (第1の実施形態)

図1は、縮小投影露光装置の一例を示す概略構成図である。図において、1は照明光学系、2～4はそれぞれ照明光学系1を構成するフライアイレンズ、照明アパーチャ（二次光源面）およびコンデンサレンズを示している。

#### 【0035】

照明光学系1から発した照明光は、一般には、波長が157nm～365nmの範囲内にある光であり、フォトマスク5上の一辺が10cm程度の矩形のパターン領域をほぼ均一な照度で照明する。

#### 【0036】

フォトマスク 5 のパターン領域内には、例えば、一方向に周期性を有するパターン（一次元パターン）、周囲のパターンと孤立した孤立パターン、縦横もしくは斜めなど二つの方向に周期性を有するパターン（二次元パターン）などのパターンが配置されている。これらのパターンは、透過領域と遮光領域により構成される。遮光領域の代わりに半透明領域を用いる場合もある（ハーフトーンマスク）。

#### 【0 0 3 7】

フォトマスク 5 に入射した光は上記パターン（パターン面）により回折し、その後、投影光学系 6 に入射する。投影光学系 6 は入射した光を集光し、感光基板上（ウェハ）7 上にフォトマスク 5 の像を結ぶ。

#### 【0 0 3 8】

投影光学系 6 の縮小率を  $M$  とすると、フォトマスク 5 において照明されるパターン領域のサイズが、例えば一辺  $X$  [mm] の正方形である場合、感光基板 7 上における一括露光領域のサイズは一辺  $M \cdot X$  [mm] の正方形となる。縮小率  $M$  の値は  $1/4$  または  $1/5$  の露光装置が一般的である。

#### 【0 0 3 9】

投影光学系 6 の内部には、投影光学系 6 の有効な大きさ（直径）を規定する絞り（開口絞り）が存在し、開口絞りが存在する面を瞳または瞳面と呼ぶ。

#### 【0 0 4 0】

図 2 は、フォトマスク 5 上に照明光が入射し、フォトマスク 5 上で発生した三つの回折光がそれぞれ瞳面内の異なる点を通過し、感光基板 7 上の一つの像点に到達する様子を模式的に示す図である。図 2 において、 $L1 \sim L3$  はフォトマスク 5 を透過し、かつ投影光学系 6 に入射する前の回折光、 $L1' \sim L3'$  はフォトマスク 5 を透過し、かつ投影光学系 6 を通過した後の回折光を示している。

#### 【0 0 4 1】

ここで、投影光学系 6 に瞳透過率変動がある場合、回折光は経路ごとに異なる量だけ減衰する。この結果、パターン転写に関する露光量の特性は、瞳透過率変動がない場合とは異なるものとなる。

#### 【0 0 4 2】



図3に、投影光学系6の中心部と周辺部で透過率が異なる瞳透過率変動がある場合の、投影光学系6に入射する前の回折光L1～L3の振幅（同図（a））および投影光学系6を透過した後の回折光L1'～L3'の振幅を示す（同図（b））。

#### 【0043】

投影光学系6の中心部と周辺部で透過率が異なるために、投影光学系6の通過後には、回折光L1'，L3'の振幅は減衰する。その結果、回折光L2'に対する回折光L1'，L3'の振幅比（光強度比）は、回折光L2に対する回折光L1，L3の振幅比とは異なるものとなる。

#### 【0044】

例として、照明アパーチャ3が小さい照明条件（0.3程度）で、フォトマスク5における透過領域と遮光領域の幅の比が1：1、すなわちデューティ（Duty）比が0.5のラインアンドスペースパターン（以下、第1のL&Sパターンという。）と、第1のL&Sパターンより短い周期をもつ、デューティ比が0.5のラインアンドスペースパターン（以下、第2のL&Sパターンという。）とを、感光基板7上の二つの近傍領域にそれぞれ同時に縮小投影する場合を考える。

#### 【0045】

図4は、第1のL&Sパターンおよびその結像に関する回折光の経路を模式的に示す図である。図4に示すように、第1のL&Sパターン11は、遮光領域と透過領域とで構成されている。

#### 【0046】

第1のL&Sパターン11により発生する回折光のうち、結像に寄与するのは主として0次回折光および1次回折光である。0次回折光と1次回折光の振幅比はデューティ比に依存する。0次回折光の振幅C0と1次回折光の振幅C1の比率とは、デューティ比 $\beta$ を用いて次のように表される。

#### 【0047】

$$C0 : C1 = 1 : \sin(\pi\beta) / (\pi\beta)$$

例えば、デューティ比が0.5の場合、 $C0 : C1 = 1 : 0.64$ となる。

#### 【0048】

次に、投影光学系 6 の瞳透過率変動を計測する。この瞳透過率変動の計測は、周知の計測方法は、例えば、本出願の筆頭発明者による発明、特開 2 0 0 1 - 2 3 0 1 7 9 の第 1 の実施形態（段落番号 0 0 3 4 ～ 0 0 4 9、図 1 ～ 4）に記載された方法を用いる。この方法では、フォトマスク 5 上で発生して投影光学系 6 を通過する回折光について、投影光学系 6 の透過率を求めることになる。また、投影光学系 6 を通過する光の投影光学系 6 内の多数の経路について、予め投影光学系の透過率を求めておけば、使用するフォトマスク毎に、投影光学系 6 の透過率を求めることは不要になる。

#### 【 0 0 4 9 】

以下、瞳透過率変動を計測した結果、図 5 に示すような、投影光学系 6 の瞳の中央において最も透明で、端に向かって振幅透過率が低下していくような瞳透過率変動が発生していたとして説明を進める。

#### 【 0 0 5 0 】

投影光学系 6 に 0 次回折光および 1 次回折光が入射する前、それらの振幅比は  $C_0 : C_1 = 1 : 0.64$  である。第 1 の L & S パターン 1 1 が作る 0 次回折光の経路の透過率は 1 ( $X = 0$ ) である。

#### 【 0 0 5 1 】

ここで、第 1 の L & S パターン 1 1 が作る 1 次回折光の経路の振幅透過率が 0.9 ( $X = b$ ) であるとする、投影光学系 6 を通過して感光基板 7 上に到達する直前にはその振幅比は  $C_0 : C_1 = 1 : 0.58$  に変化する。

#### 【 0 0 5 2 】

この結果、瞳透過率変動がない場合に比べて像の状態が変化し、パターンが所望寸法に仕上がる最適露光量は変動する。

#### 【 0 0 5 3 】

図 6 に、第 2 の L & S パターンおよびその結像に関する光の経路を模式的に示す。第 2 の L & S パターン 1 2 の 1 次回折光の経路は、第 1 の L & S パターン 1 1 の 1 次回折光の経路とは異なる。

#### 【 0 0 5 4 】

投影光学系 6 に 0 次回折光と 1 次回折光が入射する前、それらの振幅比は  $C_0$

:  $C_1 = 1 : 0.64$  である。第2のL & Sパターン12が作る0次回折光の経路の透過率は1 ( $X = 0$ ) である。

#### 【0055】

ここで、第2のL & Sパターン12が作る1次回折光の経路の振幅透過率が0.8 ( $X = a$ ) であるとする、投影光学系6を通過して感光基板7上に到達する直前には回折光の振幅比が  $C_0 : C_1 = 1 : 0.51$  に変化する。

#### 【0056】

この結果、瞳透過率変動がない場合に比べて像の状態が変化する。具体的には、第2のL & Sパターン12の最適露光量の変動し、しかも、その変動量は第1のL & Sパターン11の変動量のそれと異なる。

#### 【0057】

すなわち、上記状態では、第1のL & Sパターン11が所望寸法のときに第2のL & Sパターン12が細くなり、逆に、第2のL & Sパターン12が所望寸法のときには、第1のL & Sパターン11が太くなる。したがって、第1および第2のL & Sパターン11, 12は同時に所望寸法に仕上がらない。

#### 【0058】

上記問題を解決するために、本実施形態では、マスクバイアス、ここでは第1および第2のL & Sパターン11, 12のデューティ比を調節する。例えば、投影光学系6を通過した後の0次回折光と1次回折光の振幅比が  $C_0 : C_1 = 1 : 0.64$  となるように、第1および第2のL & Sパターン11, 12のデューティ比を調節する。

#### 【0059】

すなわち、入射側の0次回折光と1次回折光の振幅比が、第1のL & Sパターン11では  $C_0 : C_1 = 1 : 0.71$ 、第2のL & Sパターン12では  $C_0 : C_1 = 1 : 0.8$  になるようにすればよい。これは、第1のL & Sパターン11のデューティ比を0.44、第2のL & Sパターン12のデューティ比を0.36に設定することにより実現できる。

#### 【0060】

このようにデューティ比を設定すれば、第1および第2のL & Sパターン11

、12は、投影光学系6を通過した光の0次回折光と1次回折光の振幅比が $C_0 : C_1 = 1 : 0.64$ となる。そのため、感光基板7上に、第1のL&Sパターン11に対応したレジストパターン（以下、第1のL&Sレジストパターンという。）および第2のL&Sパターン12に対応したレジストパターン（以下、第2のL&Sレジストパターンという。）を同時に所望寸法に仕上げる事が可能となる。

#### 【0061】

第1および第2のL&Sレジストパターンを同時に所望寸法に仕上げる別の方法として、第1のL&Sパターン11のデューティ比を0.5に維持したまま、第2のL&Sパターン12のデューティ比を変更する方法がある。

#### 【0062】

第1のL&Sパターン11の結像に関する投影光学系6を通過した0次回折光と1次回折光の振幅比は $C_0 : C_1 = 1 : 0.58$ であり、第2のL&Sパターン12の結像に関する回折光に関してもこの比率となるようにする。これは、第2のL&Sパターン12のデューティ比を0.54にすることにより実現できる。

#### 【0063】

このようにデューティ比を設定すれば、第1および第2のL&Sパターン11、12は、投影光学系6を通過した光の0次回折光と1次回折光の振幅比が $C_0 : C_1 = 1 : 0.58$ となるため、第1および第2のL&Sパターン11、12を同時に所望寸法に仕上げる事が可能となる。

#### 【0064】

以上述べたように、本実施形態では、投影光学系6の透過率特性を求め、この透過率特性を用いてマスクバイアスを求めるので、投影光学系6の瞳透過率変動の影響を小さくできるとともに、コスト等を増大させ、実用上の障害の原因となる複数のマスクバイアスを変えたフォトマスクを予め準備する必要がなくなる。

なお、本実施形態では、第1のL&Sパターン11のデューティ比を固定して、第2のL&Sパターン12のデューティ比を変更したが、逆に、第2のL&Sパターン12のデューティ比を固定して、第1のL&Sパターン11のデューティ

ィ比を変更しても構わない。この場合、第1のL & Sパターン11のデューティ比は、投影光学系6を通過した光の0次回折光と1次回折光の振幅比が $C_0 : C_1 = 1 : 0.51$ となるように設定される。

#### 【0065】

また、本実施形態では、2種類のパターンを同時に所望寸法に仕上げる状況を考慮したが、3種類以上の異なる種類のパターンを同時に所望寸法に仕上げる場合であっても、同様の方法ですべてのパターンを同時に所望寸法に仕上げる事ができる。

#### 【0066】

さらに、本実施形態の方法は、L & Sパターンに限定されず、孤立ラインまたは孤立スペース、ホールパターン、あるいは2次元的な周期性を有するパターンなどいかなるパターンにも適用できる。

#### 【0067】

さらにまた、本実施形態の方法は、 $\sigma$  値 = 0.3 程度の小さい照明条件に限定されず、いかなる照明条件にも適用できる。

#### 【0068】

ただし、複雑な形状のパターンや、大きな $\sigma$  値の照明の場合は、最適マスクバイアスの算出には複雑な計算が必要となるため、コンピュータを用いて最適解を求める。この場合、回折光の振幅比を計算する変わりに、レジストパターン仕上がり寸法を計算機シミュレーションにより求め、最適なマスクバイアスの条件を求めてもよい。

#### 【0069】

さらにまた、瞳透過率変動の振る舞いが本実施形態（図5）とは異なる場合であっても、例えば、計算機シミュレーションを行って最適マスクバイアス条件を求め、マスクバイアス設計に反映させることにより、寸法が適切なレジストパターンを形成することが可能となる。

#### 【0070】

（第2の実施形態）

次に、第2の実施形態について説明する。なお、以下の実施形態では、第1の

実施形態の図1の露光装置を用いたとして説明する。また、前述した図と同一符号は同一符号または相当部分を示し、詳細な説明は省略する。

#### 【0071】

前述の通り、半導体デバイスの正常動作のためには、感光基板（ウェハ）7上の一辺20～35mmの一括露光領域内（フォトマスク5上に換算して一辺80～140mmの領域内）で、レジストパターンの寸法ばらつきが十分小さい必要がある。

#### 【0072】

ここで、瞳透過率変動は一括露光領域内で変動するから、瞳透過率変動は一括露光領域内のパターン寸法変動の原因となる。瞳透過率変動が一括露光領域内で変動する理由は次のように考えることができる。

#### 【0073】

図7は、一括露光領域内の中央付近P1に到達する第1の回折光の投影光学系6内における経路21～23と、一括露光領域内の端付近P2に到達する第2の回折光の投影光学系6内における経路24～26とが異なる様子を示している。

#### 【0074】

第1の回折光と第2の回折光とでは、投影光学系6を構成するレンズに対する入射角やレンズ材の内部を通過する距離が異なる。その結果、一括露光領域内の中央付近P1と一括露光領域内の端付近P2とでは異なる瞳透過率変動が計測される。

#### 【0075】

瞳透過率変動が一括露光領域内で変動することに起因するパターン寸法ばらつきを抑制する方法を説明する。ここでは、フォトマスク5の一括露光領域内における微細な領域P11～P13におけるマスクパターンM11～M13は、同一寸法・同一形状のL&Sパターンであるが（図8（a））、瞳透過率変動が原因で、領域P11～P13に対応した感光基板上の領域P11'～P13'間でレジストパターンの寸法がばらついていたとする（図8（b））。

#### 【0076】

まず、一括露光領域内の領域P11～P13に到達する光の投影光学系6内に

おける透過率を計測し、投影光学系 6 の瞳透過率変動を求める。計測方法は、第 1 の実施形態でも述べたが、例えば本出願の筆頭発明者による発明、特開 2001-230179 号公報に記載された方法を用いる。

#### 【0077】

次に、計算機シミュレーションにより、瞳透過率変動を考慮して、マスクバイアスの最適値を一括露光領域内の領域 P 11 ~ P 13 ごとに計算する。

#### 【0078】

ここで、一括露光領域内の領域ごとのマスクバイアス最適値とは、一括露光領域内の複数の異なる領域内に存在する同一形状のパターンが同時に所望寸法に仕上がるようなマスクバイアスの大きさのことで、同一形状のレジストパターンを形成するマスクパターンのマスクバイアスを一括露光領域の領域ごとに変えることを意味している。

#### 【0079】

領域ごとのマスクバイアス最適値の決め方はいくつか考えられる。例えば、ある基準状態を定め、全てのパターンが基準状態と同一になるように、全てのパターンのマスクバイアスを変えてもよいし、あるいは一括露光領域内のある一つの領域を基準状態として、他の領域における像の状態を基準状態に一致するように、マスクバイアスを決定しても構わない。

#### 【0080】

最後に、求めたマスクバイアスを用いてフォトマスク 5 を設計し、製造する。このようにして設計されたフォトマスク 5 の転写によって形成されるレジストパターンは、図 9 に示すように、一括露光領域内の寸法ばらつきが抑制されることを確認した。

#### 【0081】

図 9 は、図 8 のような寸法ばらつきを、領域 P 11 を基準とし、領域 P 12, P 13 におけるマスクバイアスを調節して、寸法ばらつきを抑制した状況を表している。

#### 【0082】

すなわち、領域 P 12 においては、遮光領域の幅（ライン幅）を狭くするマス

クバイアスを与えることで、領域P12に対応した感光基板7上の領域のレジストパターン寸法を縮小し、一方、領域P13においては、遮光領域の幅を広くするマスクバイアスを与えることで、領域P13に対応した感光基板7上の領域のレジストパターン寸法を増大することで、寸法ばらつきを抑制する。

#### 【0083】

(第3の実施形態)

図10は、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクの設計方法を示すフローチャートである。

#### 【0084】

第2の実施形態で説明した一括露光領域内の寸法ばらつき抑制の方法と、第1の実施形態で示した方法、すなわち同一形状ではあるが同一寸法でないL&Sパターンを同時に所望寸法に仕上げる方法とを同時に用いる方法も可能である。このような方法について、以下、本実施形態のフォトマスクの設計方法として説明する。

#### 【0085】

まず、一括露光領域内の複数の領域に到達する光について、投影光学系6内における透過率を測定し、投影光学系6の瞳透過率変動特性を求める(ステップS1)。

#### 【0086】

次に、ステップS1にて得られた瞳透過率変動特性を考慮して、レジストパターンの形状・寸法を周知のシミュレーションにて見積もる(ステップS2)。

#### 【0087】

次に、基準となるパターン(基準パターン)を選び、さらに基準パターンを所望寸法(設計寸法)とするためのマスクバイアスを設定する(ステップS3)。

#### 【0088】

ここで、基準パターンは、実際に使用するフォトマスク5の中から選んでもよいし、あるいは実際に使用するフォトマスク5中のパターンとは別のパターン(仮想パターン)にしても構わない。

#### 【0089】



次に、基準パターンに対応した、感光基板上に形成されるパターンの寸法（仕上がり寸法）と、フォトマスク 5 内の一括露光領域内に存在する基準パターンと同一形状・同一寸法のパターンに対応した仕上がり寸法とが一致するように、一括露光領域内の複数の領域ごとにマスクバイアス（第 1 のマスクバイアス）を決定する（ステップ S 4）。なお、ステップ S 3 において、基準パターンとして仮想パターンを用いた場合、フォトマスク 5 内に仮想パターンがあると仮定して、ステップ S 4 を行う（以下のステップにおいても同様）。

#### 【 0 0 9 0 】

次に、フォトマスク 5 内のパターンのうち、基準パターンとは異なる形状・寸法のパターン（非基準パターン）および基準パターンの仕上がり寸法が、同時に所望寸法になるように、一括露光領域内の領域ごとに非基準パターンのマスクバイアス（第 2 のマスクバイアス）を決定する（ステップ S 5）。

#### 【 0 0 9 1 】

次に、第 1 および第 2 のマスクバイアスを用いて、フォトマスク 5 を設計する（ステップ S 6）。

#### 【 0 0 9 2 】

本実施形態の変形例として、ステップ S 3 で、一括領域内において基準となる領域（基準領域）を設定し、ステップ S 4 で、基準領域において任意のパターンが所望の仕上がり寸法になるように、パターン種別ごとにマスクバイアスを決定し、ステップ S 5 で、基準領域以外の領域のパターンの仕上がり寸法のばらつきが抑制されるように、パターン種別ごとのマスクバイアスを決定する方法があげられる。

#### 【 0 0 9 3 】

他の変形例として、一括露光領域の複数の領域毎にそれに対応する瞳透過率変動を求め、次に、これらの瞳透過率変動の平均を求め、この平均瞳透過率変動を用いて各パターン種毎にマスクバイアスを求める方法がある。この場合、一括露光領域内の全ての領域で、同じ種類のパターン（同一形状・同一寸法のパターン）には同じ共通のマスクバイアスが与えられる。

#### 【 0 0 9 4 】

この共通のマスクバイアスを使用する変形例は、領域によっては瞳透過率変動の影響が多少残るが、フォトマスク 5 の作成の際に、CAD データの作成が短時間で可能という利点がある。一括露光領域内で瞳透過率変動特性の変化が小さければ、この方法をとることで、容易にレジストパターンの寸法ばらつきを抑制できる。

#### 【0095】

(第 4 の実施形態)

次に、第 4 の実施形態について説明する。ここでは、感光基板上に形成される光学像の予想方法について説明する。

#### 【0096】

まず、露光装置の投影光学系 6 の瞳透過率変動分布を計測する。計測方法は、承知の方法、例えば特開 2001-230179 号公報に記載された方法を用いる。図 11 に、フォトマスク 5 上の一括露光領域内の複数の領域 P 21 ~ 23 に到達する光に関する瞳透過率変動分布の計測結果を示す。縦軸および横軸は、瞳面上の位置を表す座標軸であり、投影光学系 6 の円形状の絞りの半径で規格化されたものである。

#### 【0097】

次に、計測結果を投影光学系 6 の瞳座標系 ( $\rho - \phi$  座標) で定義される Z e r n i k e 多項式の線形結合で表される級数にフィットさせ、展開係数を求める。Z e r n i k e 多項式は瞳面を表す単位円内で定義され、第 1 番目 (定数項) からはじまって、大きい数字になるにつれて複雑な形状を表す。Z e r n i k e 多項式の第 1 番目 ( $Z_1$ ) から第 6 番目 ( $Z_6$ ) までは次のように表される。

#### 【0098】

$$Z_1(\rho, \phi) = 1$$

$$Z_2(\rho, \phi) = \rho \cos \phi$$

$$Z_3(\rho, \phi) = \rho \sin \phi$$

$$Z_4(\rho, \phi) = 2\rho^2 - 1$$

$$Z_5(\rho, \phi) = \rho^2 \cos 2\phi$$

$$Z_6(\rho, \phi) = \rho^2 \sin 2\phi$$

Zernike 多項式を用いて、瞳内の任意の点における瞳透過率変動  $T(\rho, \phi)$  は次式で表される。

【0099】

【数1】

$$\begin{aligned} T(\rho, \phi) &= a_1 Z_1(\rho, \phi) + a_2 Z_2(\rho, \phi) + \dots \\ &= \sum_n a_n Z_n(\rho, \phi) \end{aligned} \quad \text{数(1)}$$

【0100】

$n$  に関する和は必要な精度に応じて適宜打ち切る。 $a_n$  は展開係数であり、 $a_n$  は感光基板上に形成される光学像に関する二つのパラメータ情報（光学像の X 座標および Y 座標）を含んでいる。

【0101】

図 11 に表された瞳透過率変動データのうちの一点 (点 P21) について、Zernike 多項式を用いたフィットにより求めた展開係数は、 $a_2 = 0.0194$ 、 $a_3 = -0.0054$ 、 $a_4 = 0.0040$ 、 $a_5 = -0.0202$ 、 $a_6 = 0.0110$ 、 $a_7 = -0.0019$ 、 $a_8 = -0.0074$ 、 $a_9 = -0.0215$  である。

【0102】

瞳透過率変動を Zernike 多項式の線形結合で近似する場合、Zernike 多項式を用いた展開が収差の取り扱いにおいても使われているから、シミュレータにおいて収差と瞳透過率変動の計算ルーチンを共有化でき、シミュレータ構築が容易になるという利点がある。

【0103】

また、瞳透過率変動分布を Zernike 級数展開したとき、それぞれの項は光学像に対してそれぞれ異なる影響力を持つ。そのため、Zernike 多項式展開の係数から、瞳透過率変動の影響度に関してある程度の予測を行えるという利点がある。

【0104】

例えば、第 2 項  $Z_2$  は、図 12 に示すような分布を表し、瞳の左側の光経路の

透過率と瞳の右側の光経路の透過率とが異なる状態を表す。すなわち、第2項はフォーカス値に依存して像の位置がずれる、いわゆるテレセンズレと似た影響力を持つ。したがって、第2項から、テレセンズレに関してある程度の予測を行える。

#### 【0105】

また、第4項は、図13に示すような同心円状の分布を表し、瞳の中央からの距離に応じて光経路の透過率が異なる状態を表す。回折光通過位置の瞳の中央からの距離は、マスクパターンの周期と関係するから、第4項から、マスクパターン周期に依存した最適露光量の変動についてある程度の予測を行える。

#### 【0106】

以上述べたようなZernike多項式の展開係数に関する知見（物理的意味）は、マスクパターン設計において有用である。

#### 【0107】

次に、瞳透過率変動分布をZernike多項式展開して得られた展開係数を入力パラメータとして取り込み、計算機シミュレーションによって、瞳透過率変動を考慮した光学像を予測する。この予測はコンピュータのソフトウェア（プログラム）が行うから、瞳透過率変動の展開係数の情報を予め入力ファイルに保存しておき、シミュレータ（プログラム）が計算実行時に入力ファイルにアクセスして中の数値情報を読み取る。

#### 【0108】

入力ファイルの一例は、次の通りである。

#### 【0109】

ファイル名：input.txt

```
a 1      1
a 2      0. 0 1 9 4
a 3     -0. 0 0 5 4
a 4      0. 0 0 4 0
a 5     -0. 0 2 0 2
a 6      0. 0 1 1 0
```

a 7 - 0. 0019

a 8 - 0. 0074

a 9 - 0. 0215

上記入力ファイルから係数 a 1 ~ a 9 の数値情報を読み取ったシミュレータ（プログラム）は、後述するウインドウ関数を計算する際（図 15 のステップ S 14）に、数（1）に従って瞳透過率変動  $T(\rho, \phi)$  を計算する。

#### 【0110】

図 14 に、上記光学像の予測方法を示すフローチャート、言い換えればシミュレータ（プログラム）のアルゴリズムの一例を示す。

#### 【0111】

まず、二次光源中の任意の第 1 番目（ $k = 1$ ）の点光源の位置および輝度に関する情報を取得する（ステップ S 11, S 12）。該情報の取得は、例えば、実測により行うか、もしくは露光装置の仕様値に基づいた計算により行う。

#### 【0112】

次に、上記一つの点光源の位置と輝度を考慮しながらマスクパターン  $f_k(X, Y)$  をフーリエ変換し（ $F_k(\rho, \phi)$ ）、投影光学系 6 の瞳上における光の振幅分布および位相分布を取得する（ステップ S 13）。 $\rho$  および  $\phi$  は、それぞれ、投影光学系 6 の瞳上の極座標を定義する同径方向の長さおよび角度を示している。

#### 【0113】

次に、ステップ S 13 にて得られた  $F_k(A, \phi)$  に、瞳座標依存性を持つ瞳透過率関数  $A(\rho, \phi)$  を含んだウインドウ関数  $W(\rho, \phi)$  を掛ける（ステップ S 14）。ウインドウ関数  $W(\rho, \phi)$  は、投影光学系の瞳の大きさ、収差・瞳透過率変動の情報を含む関数である。収差（収差データ）は、ウインドウ関数  $W(\rho, \phi)$  中の  $\Phi$  で表現される。

#### 【0114】

次に、ステップ S 14 により得られた結果（ $F_k(\rho, \phi) \times$  ウインドウ関数）をフーリエ逆変換し、さらにこのフーリエ逆変換したものから、上記一つの点光源により作られる感光基板上の光の像強度分布を得る（ステップ S 15）。

#### 【0115】

次に、ステップ S 1 5 にて得られた像強度分布と、第 1 番目から第  $k-1$  番目までの光源が作る像強度分布の和とを、足し合わせる（ステップ S 1 6）。ここで、ステップ S 1 2 において、 $k=1$  の場合、第 1 番目から第  $k-1$  番目までの光源が作る像強度分布の和は零とする。

#### 【0116】

そして、 $k=n$  に達するまで、ステップ S 1 2 ～ S 1 6 を繰り返すことで（ステップ S 1 7, S 1 8）、二次光源中の  $n$  個の点光源により作られる像強度分布を足し合わせるにより、感光基板 7 上の光学像を計算することができる。

#### 【0117】

なお、ステップ 1 6 の像強度分布を足し合わせは、後でまとめて行っても構わない。すなわち、ステップ S 1 2 ～ S 1 5 を繰り返し、二次光源中の  $k=1 \sim n$  に対応した  $n$  個の像強度分布を求めてから、 $n$  個の像強度分布を足し合わせることで、感光基板 7 上の光学像は得られる。

#### 【0118】

ここでは、光学像を予測したが、レジストパターンを予測しても構わない。レジストパターンを予測する方法の一例としては、図 1 4 のフローに従って計算した光学像と、プロセスファクタを含んだ指数型減衰関数との畳み込み積分により予測する周知の方法、例えば、特開平 8-148404 の第 1 の実施の形態（段落番号 0020～0035）がある。

#### 【0119】

また、ここでは、投影光学系の透過率変動を近似する直交多項式として、Zernike 多項式を用いたが、透過率変動を少ない展開係数で近似することができるのであれば、他の直交多項式を用いても構わない。

#### 【0120】

（第 5 の実施形態）

図 1 5 は、第 5 の実施形態のマスクパターンの形成方法を示すフローチャートである。

#### 【0121】

まず、露光装置の収差特性（レンズの収差）および瞳透過率変動特性を周知の

方法により計測し、それらの計測データ（収差データ、瞳透過率変動データ）から、収差特性と瞳透過率変動特性を Z e r n i k e 多項式展開し、展開係数を得する（ステップ S 2 1）。

#### 【0122】

次に、露光装置のレンズに収差および瞳透過率変動がないとして設計したマスクパターンのデータ（マスクパターンデータ）を作成する（ステップ S 2 2）。

#### 【0123】

次に、マスクパターンデータ、収差データおよび瞳透過率変動データに基づいて、感光基板上に形成される光学像を予測する（ステップ S 2 3）。光学像は、マスクパターンデータ、収差データおよび瞳透過率変動データを用いて第 4 の実施形態の方法に従って光学像を計算し、予測することができる。

#### 【0124】

次に、ステップ 2 3 で予測した光学像と、感光基板上に形成されるべき設計上の光学像とを比較する（ステップ S 2 4）。

#### 【0125】

その結果、二つの計算結果の差異（光学像の差違）が許容範囲外の場合には、マスクパターン中のパターンについて、差異が減少するようにパターンデータを変更し、新たにマスクパターンデータを作成する（ステップ S 2 5）。

#### 【0126】

そして、ステップ S 2 3 に戻って再度光学像を計算し、ステップ 2 4 で算出する差異が許容範囲内になるまでステップ S 2 3 ～ S 2 5 を繰り返し適用し、差異が許容範囲内となるマスクパターンデータが求められたら、そのマスクパターンデータを用いてフォトマスクを製造する（ステップ S 2 6）。また、ステップ S 2 4 の判定で光学像の差違が許容範囲内の場合もステップ S 2 6 に進む。

#### 【0127】

また、第 4 の実施形態の予測方法や第 5 の実施形態の設計方法は、コンピュータに所定の手段を実行させるための（あるいはコンピュータを所定の手段として機能させるための、あるいはコンピュータに所定の機能を実現させるための）プログラムとして実施することもでき、さらに該プログラムを記録したコンピュー

タ読取り可能な記録媒体として実施することもできる。

#### 【0128】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題を解決できる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

#### 【0129】

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

#### 【0130】

##### 【発明の効果】

以上詳説したように本発明によれば、投影光学系の瞳透過率変動の影響を小さくでき、かつ実用的なフォトマスクの設計方法、リソグラフィプロセス中で形成されるパターンの予測方法、ならびに上記予測方法および設計方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを実現できるようになる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

縮小投影露光装置の一例を示す概略構成図

#### 【図2】

フォトマスク上で発生した三つの回折光が瞳面内の異なる点を通過し、感光基板上の一つの像点に到達する様子を模式的に示す図

#### 【図3】

瞳透過率変動がある場合の投影光学系に入射する前および投影光学系を透過した後の回折光の振幅を示す図

#### 【図4】

第1のL & Sパターンおよびその結像に関する回折光の経路を模式的に示す図

#### 【図5】

瞳透過率変動特性を示す図



**【図 6】**

第 2 の L & S パターンおよびその結像に関する回折光の経路を模式的に示す図

**【図 7】**

一括露光領域内の中央付近に到達する回折光の投影光学系内における経路と、一括露光領域内の端付近に到達する回折光の投影光学系内における経路とが異なる様子を示す図

**【図 8】**

瞳透過率変動によって、一括露光領域内の複数の同一寸法・同一形状の L & S パターンに対応した、感光基板上の複数の L & S パターンの寸法がばらついた様子を示す図

**【図 9】**

第 2 の実施形態の方法により、瞳透過率変動が存在しても、一括露光領域内の複数の同一寸法・同一形状の L & S パターンに対応した、感光基板上の複数の L & S パターンの寸法ばらつきが抑制された様子を示す図

**【図 10】**

本発明の第 3 の実施形態に係るフォトマスクの設計方法を示すフローチャート

**【図 11】**

フォトマスク上の一括露光領域内の複数の点に到達する光に関する瞳透過率変動分布の計測結果を示す図

**【図 12】**

Z e r n i k e 級数展開の第 2 項に対応した瞳透過率変動の分布の一例を示す図

**【図 13】**

Z e r n i k e 級数展開の第 4 項に対応した瞳透過率変動の分布の一例を示す図

**【図 14】**

第 4 の実施形態の光学像の予測方法を示すフローチャート

**【図 15】**

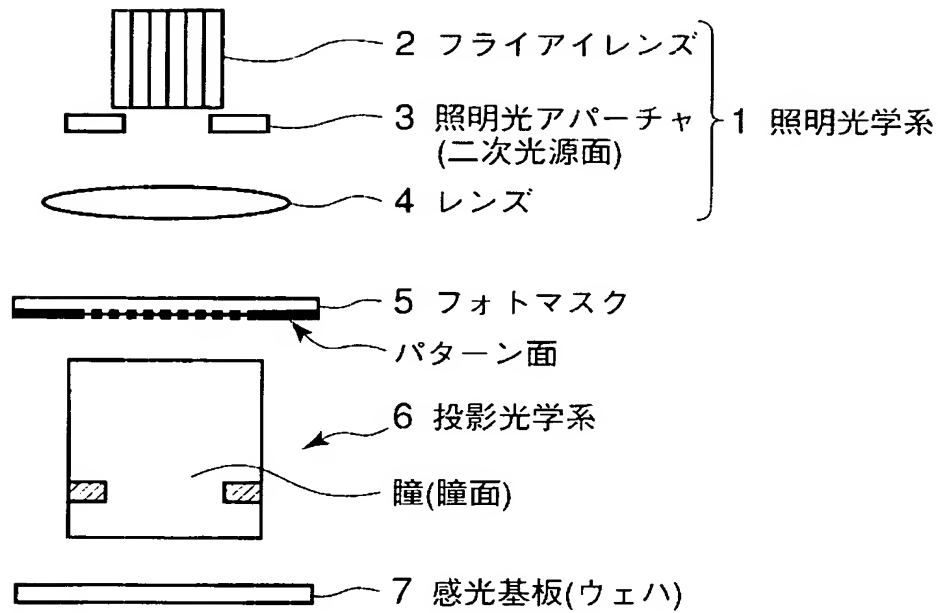
第 5 の実施形態のマスクパターンの形成方法を示すフローチャート

## 【符号の説明】

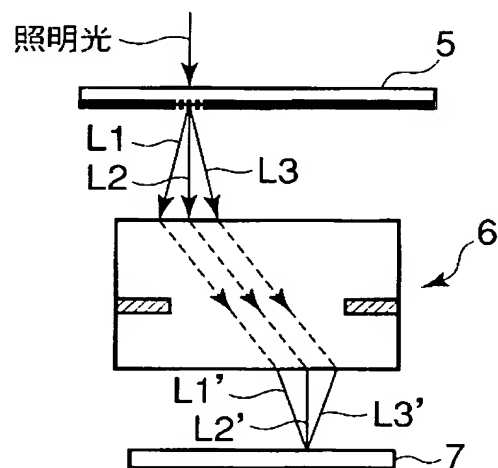
- 1…照明光学系
- 2…フライアレイレレンズ
- 3…照明アパーチャ（二次光源面）
- 4…コンデンサレンズ
- 5…フォトマスク
- 6…投影光学系
- 7…感光基板上（ウェハ）
- 1 1…第 1 の L & S パターン
- 1 2…第 2 の L & S パターン
- 2 1～2 3…第 1 の回折光の光路
- 2 4～2 6…第 2 の回折光の光路
- L 1～L 3, L 1' ～L 3' …回折光
- M 1 1～M 1 3…マスクパターン
- P 1 1～P 1 3, P 2 1～P 2 3…一括露光領域内の領域
- P 1 1' ～P 1 3' …感光基板上の領域

【書類名】 図面

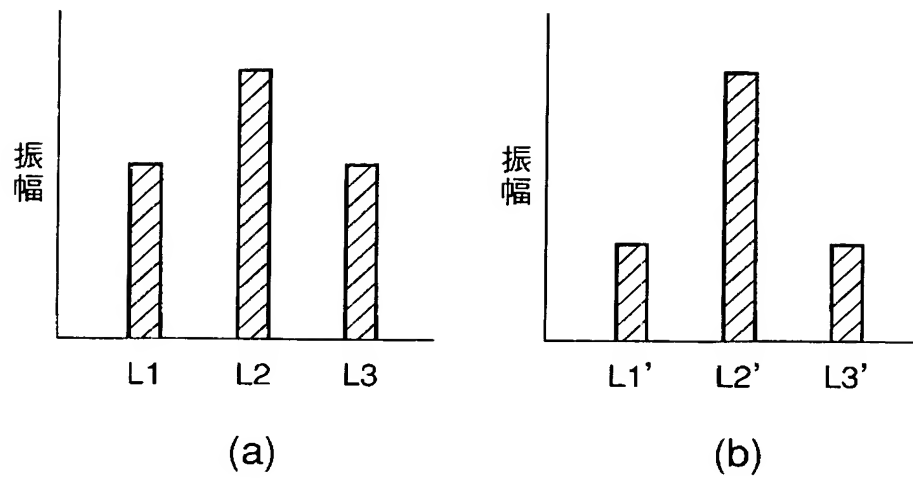
【図 1】



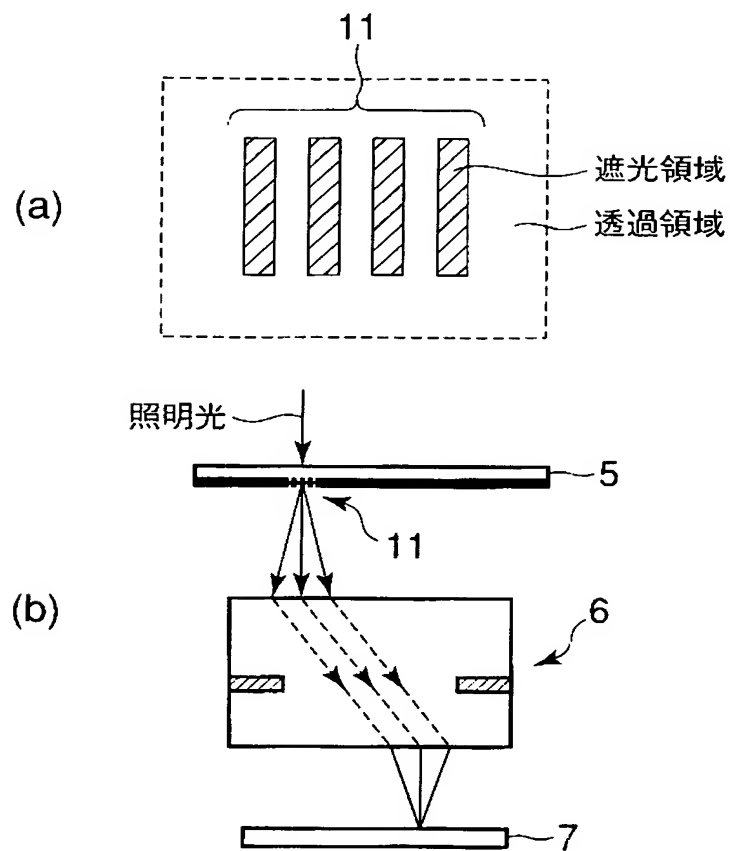
【図 2】



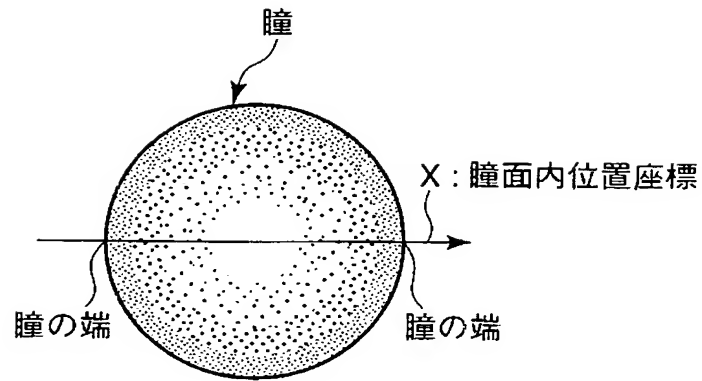
【図 3】



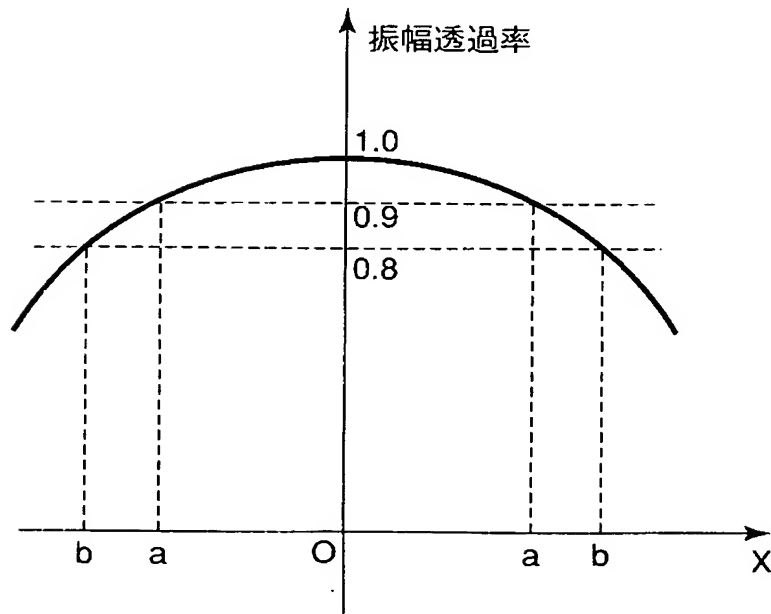
【図 4】



【図 5】

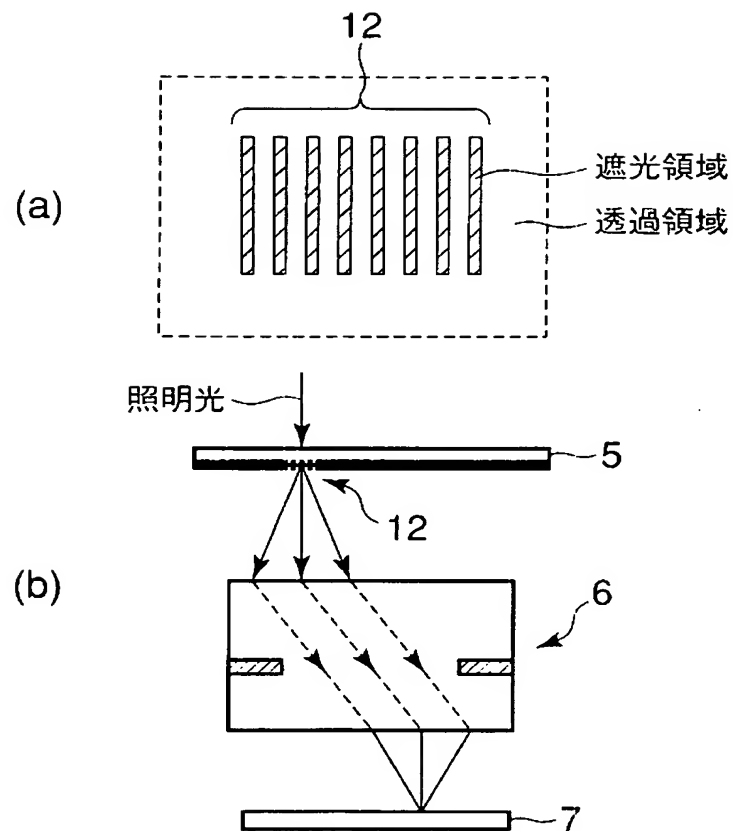


(a)

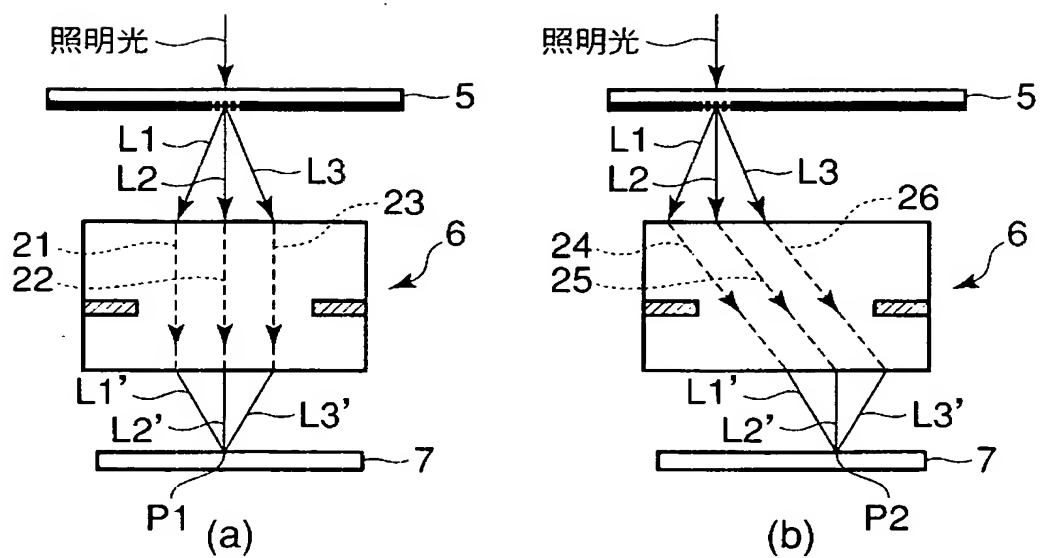


(b)

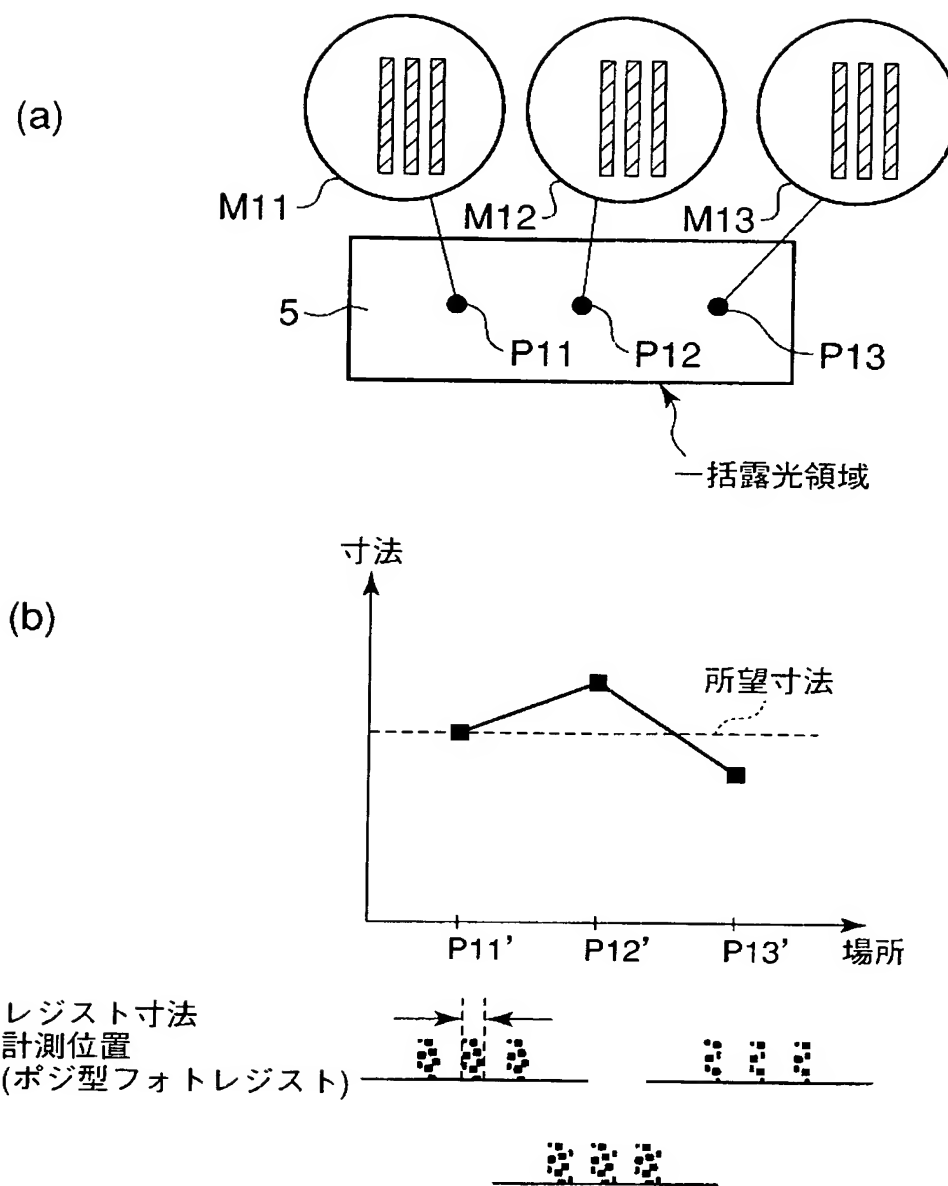
【図 6】



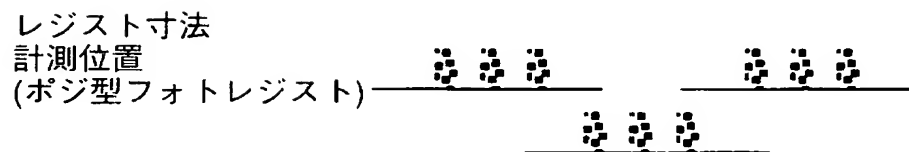
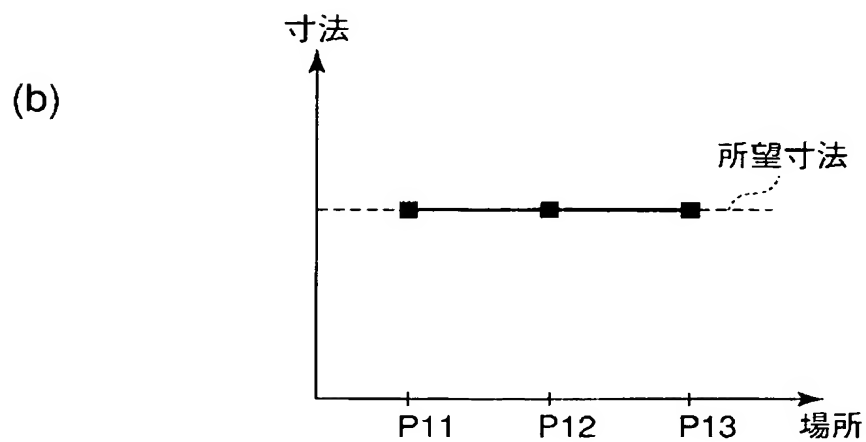
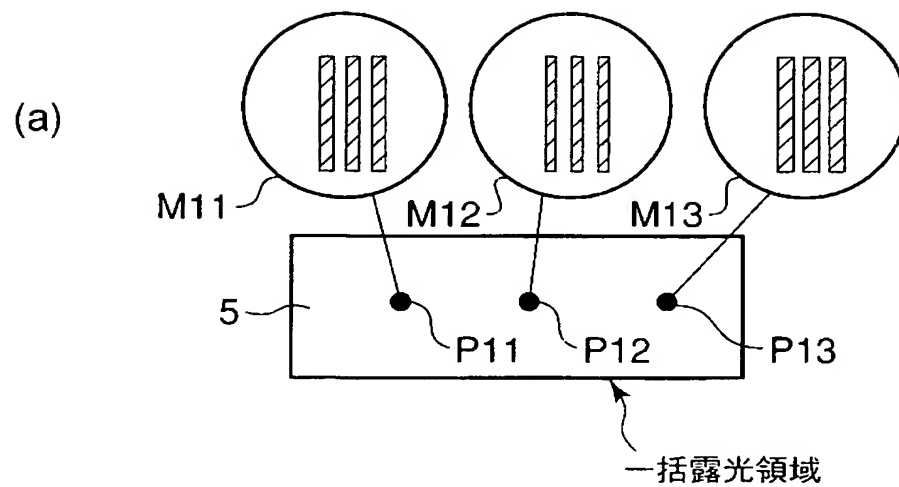
【図 7】



【図 8】

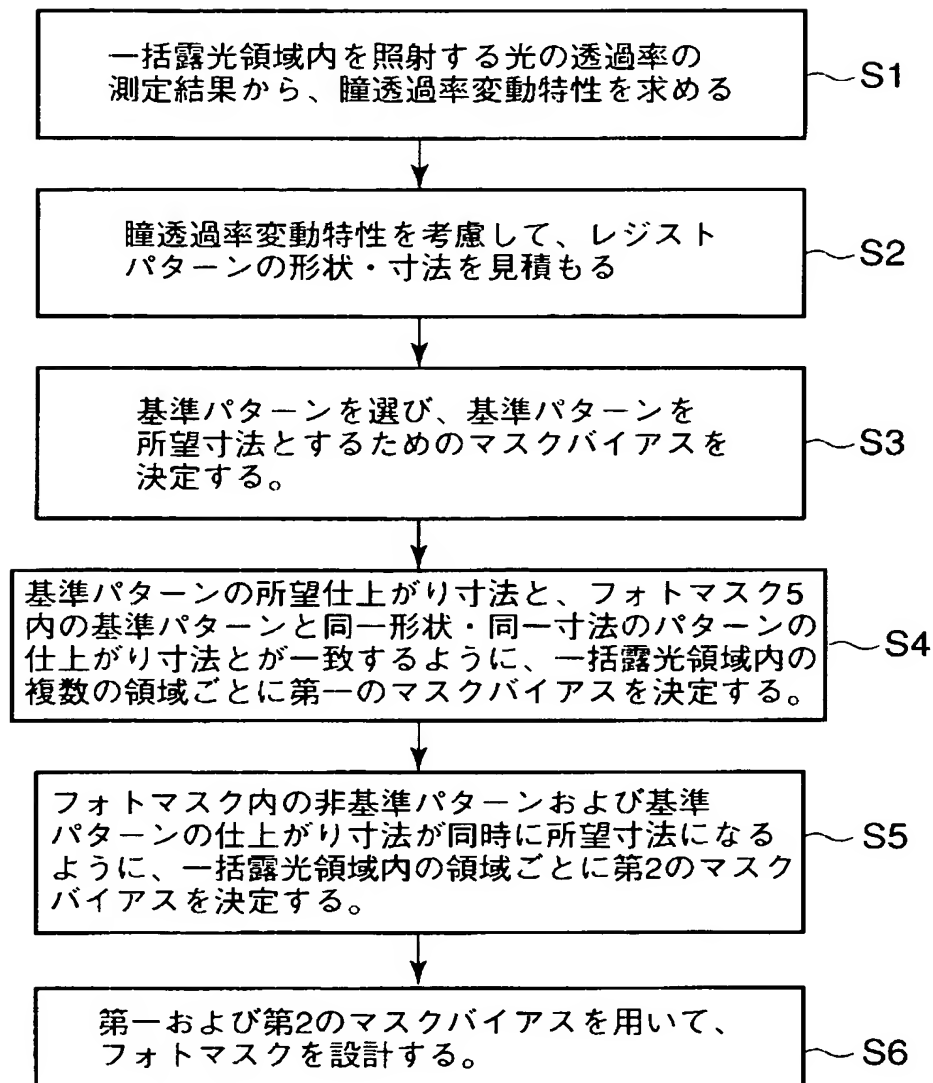


【図 9】

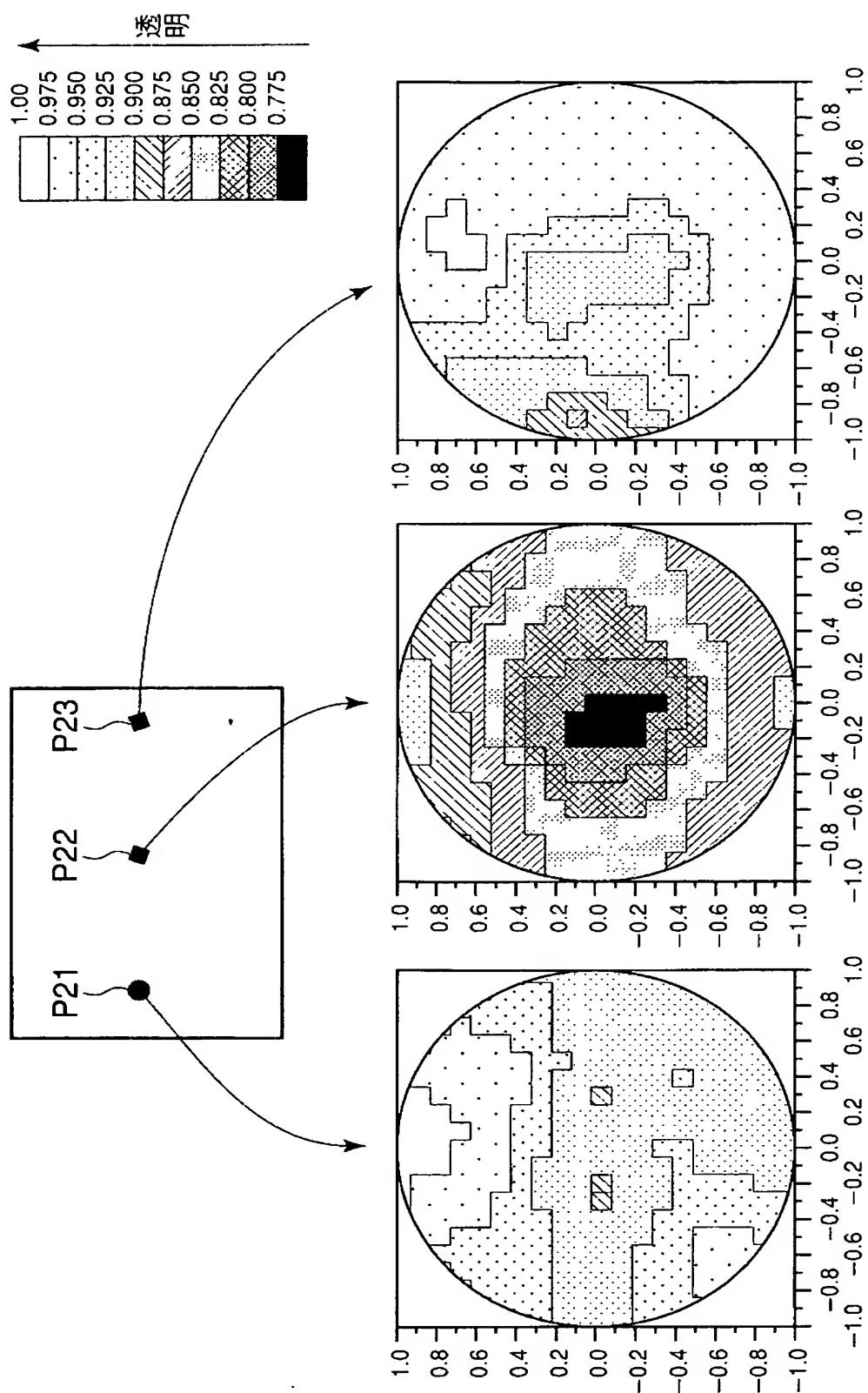




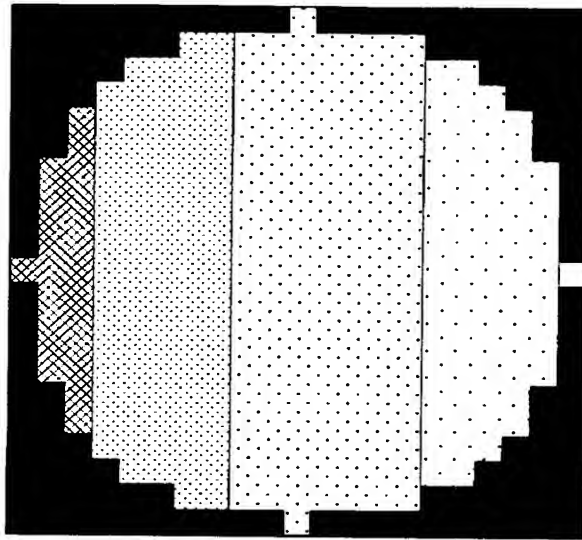
【図 10】



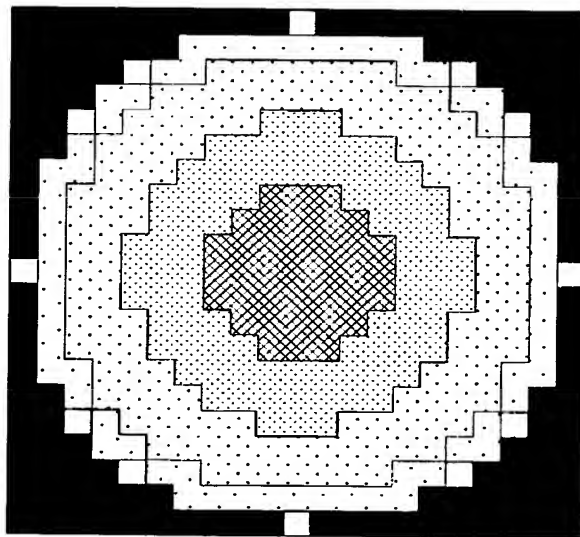
【図 11】



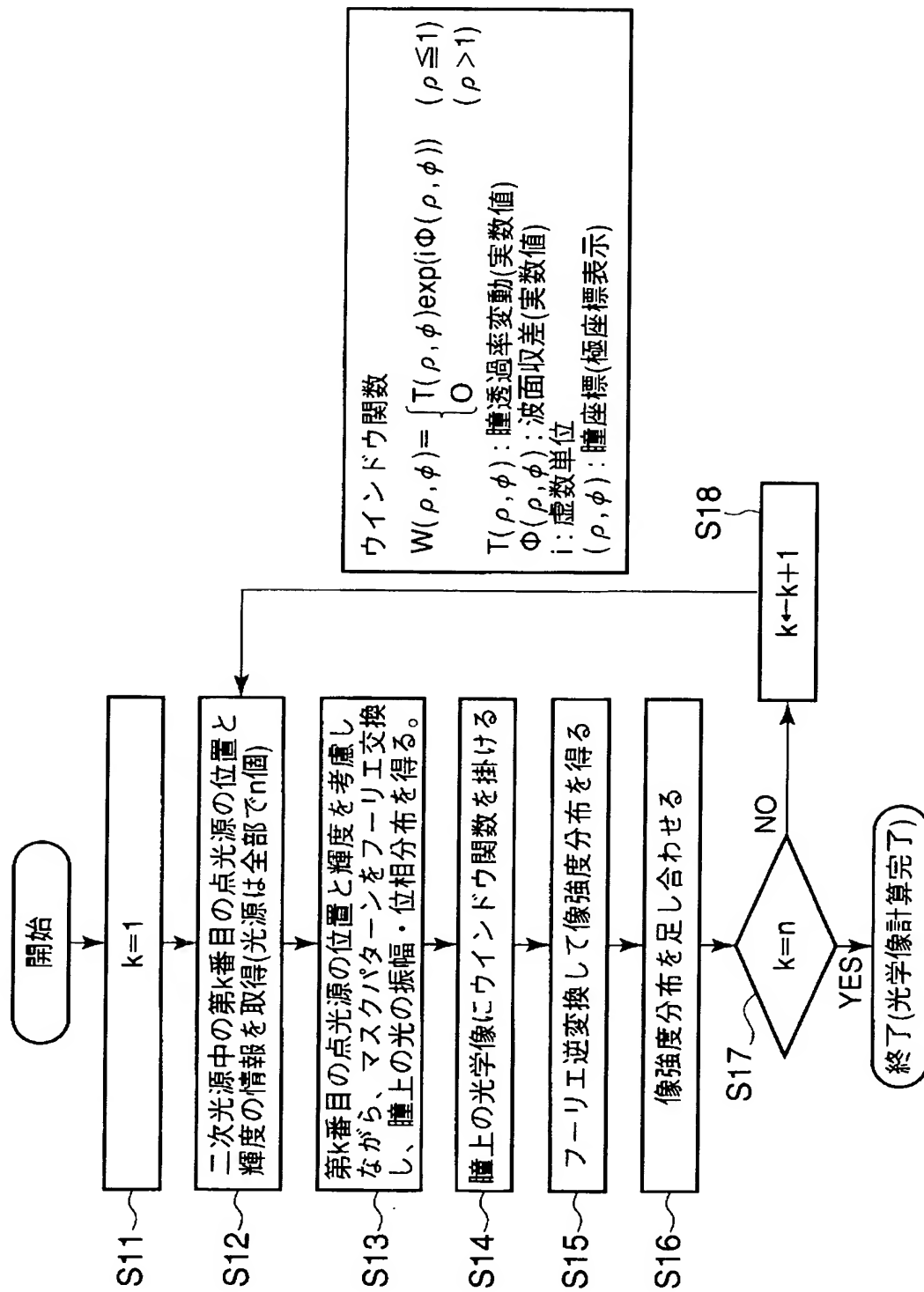
【図 12】



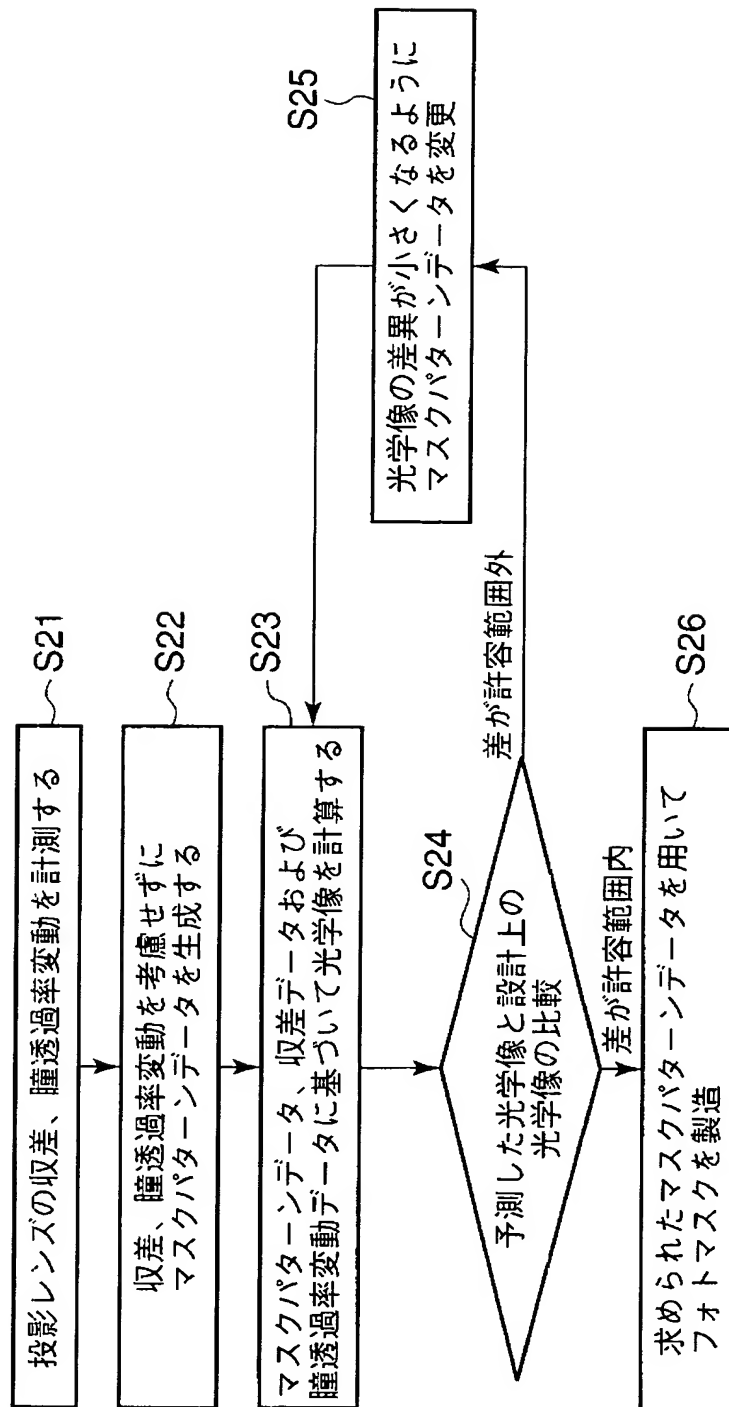
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影光学系の瞳透過率変動の影響を小さくでき、かつ実用的なフォトマスクの設計方法を実現すること。

【解決手段】 投影光学系 6 を通過する回折光 L 1 ～ L 3 の投影光学系 6 内の経路の違いに依存して変化する、投影光学系 6 の透過率特性を求め、この透過率特性を用いて、フォトマスク 5 のマスクバイアスを求める。

【選択図】 図 2

特願 2002-287363

出願人履歴情報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日      2001年   7月   2日  
    [変更理由]      住所変更  
                    住 所      東京都港区芝浦一丁目1番1号  
                    氏 名      株式会社東芝
  
2. 変更年月日      2003年   5月   9日  
    [変更理由]      名称変更  
                    住所変更  
                    住 所      東京都港区芝浦一丁目1番1号  
                    氏 名      株式会社東芝